

3/3/1 (Item 1 from file: 351)  
DIALOG(R) File 351:Derwent WPI  
(c) 2005 Thomson Derwent. All. rts. reserv.

10/549447

JC05 Rec'd PCT/PTO 14 SEP 2005

012353649 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1999-159756/ 199914  
XRAM Acc No: C99-046792  
XRPX Acc No: N99-116352

Gallium-nitride semiconductor laser - includes resonator with gallium  
nitride end face surface formed perpendicular to substrate surface

Patent Assignee: NEC CORP (NIDE ); KIMURA A (KIMU-I)

Inventor: KIMURA A

Number of Countries: 002 Number of Patents: 002

Patent Family:

| Patent No      | Kind | Date     | Applicat No | Kind | Date     | Week     |
|----------------|------|----------|-------------|------|----------|----------|
| JP 11017275    | A    | 19990122 | JP 97162717 | A    | 19970619 | 199914 B |
| US 20020048302 | A1   | 20020425 | US 9898433  | A    | 19980617 | 200233   |

Priority Applications (No Type Date): JP 97162717 A 19970619

Patent Details:

| Patent No      | Kind | Lan | Pg | Main IPC    | Filing Notes |
|----------------|------|-----|----|-------------|--------------|
| JP 11017275    | A    |     | 8  | H01S-003/18 |              |
| US 20020048302 | A1   |     |    | H01S-005/00 |              |

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-017275

(43)Date of publication of application : 22.01.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 09-162717

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 19.06.1997

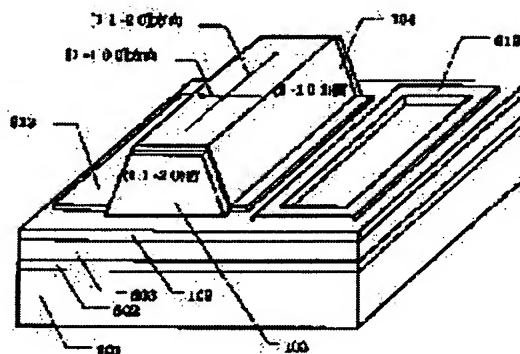
(72)Inventor : KIMURA AKITAKA

## (54) GALLIUM NITRIDE SEMICONDUCTOR LASER AND MANUFACTURE OF THE SAME

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a gallium nitride semiconductor laser equipped with a resonator mirror with satisfactory facial precision and parallelization.

**SOLUTION:** A buffer layer 602 and a contact layer 603 made of gallium nitride are formed on a sapphire (0001) face substrate 101 by an MOVPE method, and a nitride silicon mask 102 is formed on the surface. The nitride silicon mask 102 is provided with a rectangular opening having a long side in the [11-20] direction and a short side in the [1-100] direction of the gallium nitride. A gallium nitride system semiconductor layer 104 is formed at the opening by using the MOVPE method, and a (11-20) face on the side face is used as a resonator edge face 103.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.06.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.06.1999

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3153153

[Date of registration] 26.01.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 11-11328

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 08.07.1999

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-17275

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月22日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

H01S 3/18

H01L 33/00

識別記号

F I

H01S 3/18

H01L 33/00

C

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-162717

(22) 出願日 平成 9 年(1997) 6 月19日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

(72) 発明者 木村 明隆

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

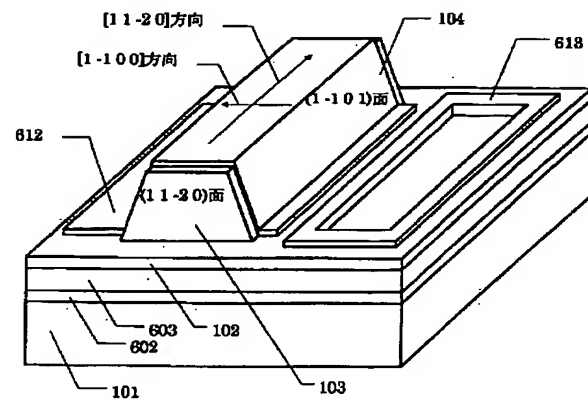
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体レーザおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 面精度および平行度の良好な共振器ミラーを備えた窒化ガリウム系半導体レーザを提供する。

【解決手段】 サファイア(0001)面基板101上に、MOVPE法によりバッファ層602、窒化ガリウムからなるコンタクト層603を形成した後、その表面に窒化珪素マスク102を形成する。マスク窒化珪素マスク102には、前記窒化ガリウムの[11-20]方向に長辺、[1-100]方向に短辺を有する長方形の開口部を設ける。この開口部に、MOVPE法を用いて窒化ガリウム系半導体層104を形成し、その側面の(11-20)面を共振器端面103とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、該基板上に形成され窒化ガリウム系半導体層を含んでなる共振器とを有する半導体レーザにおいて、前記窒化ガリウム系半導体層が六方晶の結晶構造を有し、前記共振器の端面は前記窒化ガリウム系半導体層の（1 1 - 2 0）面であって前記基板に対して実質的に垂直に形成され、前記端面は数原子層オーダーの面精度を有することを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 2】 前記端面が、前記基板上に前記窒化ガリウム系半導体層をエピタキシャル成長させることにより形成された前記窒化ガリウム系半導体層の側面であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 3】 前記基板がサファイア基板である請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザ。

【請求項 4】 前記基板が、一または二以上の窒化ガリウム系半導体層を含む平坦層が表面に形成されたサファイア基板であって、該平坦層は、六方晶の結晶構造を有し、該結晶構造の（0 0 0 1）面または（0 0 0 1）面とのなす角が 5° 以下である面を主面とする請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザ。

【請求項 5】 窒化ガリウム系半導体層を含む半導体レーザの製造方法において、六方晶の結晶構造を有し該結晶構造の（0 0 0 1）面または（0 0 0 1）面とのなす角が 5° 以下である面を主面とする一または二以上の窒化ガリウム系半導体層を含む平坦層を、基板上に直接にまたはバッファ層を介して形成する工程と、該平坦層の表面に窒化珪素マスクを形成する工程と、該窒化珪素マスクに、前記平坦層の [ 1 1 - 2 0 ] 方向を長辺、[ 1 - 1 0 0 ] 方向を短辺とする長方形の開口部を設ける工程と、前記開口部の前記平坦層の表面上に、活性層を含む一または二以上の窒化ガリウム系半導体層を含んでなる選択成長層を形成する工程とを有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 6】 前記選択成長層が、アルミニウムを含まない層のみによって構成される請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 7】 前記平坦層が、一般式  $Al_xGa_{1-x}N_{1-y}$  で表される半導体層を少なくとも含む請求項 6 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 8】 前記選択成長層を、有機金属化学気相成長法を用いて形成する請求項 5 乃至 7 いずれかに記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 9】 請求項 5 乃至 8 いずれかに記載の半導体レーザの製造方法によって製造された半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】 本発明は、面精度および平行度の良好な共振器ミラーを有する窒化ガリウム系半導体レーザおよびその製造方法に関する。

## 【0 0 0 2】

【従来の技術】 窒化ガリウムは、燐化インジウムや砒化ガリウムといった従来の一般的な化合物半導体に比べ、禁制帯幅エネルギーが大きい。そのため、窒化ガリウム系半導体は緑から紫外にかけての発光素子、特にレーザへの応用が期待されている。従来、代表的な窒化ガリウム系半導体である窒化ガリウムは、有機金属化学気相成長法（以下 MOVPE 法という。）により、（1 1 - 2 0）面または（0 0 0 1）面を表面とするサファイア基板上に形成されることが一般的であった。図 6 は、サファイア面基板上に形成された代表的な従来技術の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である（S. Nakamura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996)L74）。図 6 において、この窒化ガリウム系レーザは、サファイア（0 0 0 1）面基板 1 0 1 上に、成長温度 5 5 0 °C の厚さ 3 0 0 Å のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層 6 0 2、珪素が添加された厚さ 3 μm の n 型窒化ガリウムコンタクト層 6 0 3、珪素が添加された厚さ 0. 1 μm の n 型  $In_{0.1}Ga_{0.9}N$  層 6 0 4、珪素が添加された厚さ 0. 4 μm の n 型  $Al_{0.12}Ga_{0.88}N$  クラッド層 6 0 5、珪素が添加された厚さ 0. 1 μm の n 型窒化ガリウム光ガイド層 6 0 6、厚さ 2 5 Å のアンドープの  $In_{0.2}Ga_{0.8}N$  量子井戸層と厚さ 5 0 Å のアンドープの  $In_{0.05}Ga_{0.95}N$  障壁層からなる 2 6 周期の多重量子井戸構造活性層 6 0 7、マグネシウムが添加された厚さ 2 0 0 Å の p 型  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層 6 0 8、マグネシウムが添加された厚さ 0. 1 μm の p 型窒化ガリウム光ガイド層 6 0 9、マグネシウムが添加された厚さ 0. 4 μm の p 型  $Al_{0.12}Ga_{0.88}N$  クラッド層 6 1 0、マグネシウムが添加された厚さ 0. 5 μm の p 型窒化ガリウムコンタクト層 6 1 1、ニッケル（第 1 層）および金（第 2 層）からなる p 電極 6 1 2、チタン（第 1 層）およびアルミニウム（第 2 層）からなる n 電極 6 1 3 が形成されている。半導体層 6 0 2、6 0 3、6 0 4、6 0 5、6 0 6、6 0 7、6 0 8、6 0 9、6 1 0、6 1 1 の形成は MOVPE 法により行われた。n 型窒化ガリウムコンタクト層 6 0 3 より表面側の半導体層は六方晶であって、窒化ガリウム系半導体の（0 0 0 1）面を表面としている。

【0 0 0 3】 図 7 は、サファイア（1 1 - 2 0）の面基板上に形成された代表的な従来技術の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である（S. Nakamura et al., Jpn. Appl. Phys. 35(1996)L217）。図 7 において、この窒化ガリウム系レーザは、サファイア（1 1 - 2 0）面基板 7 0 1 上に、成長温度 5 5 0 °C の厚さ 5 0 0 Å のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層 7 0 2、珪素が添加された厚さ 3 μm の n 型窒化ガリウムコンタクト層 6 0 3、珪素が添加された厚さ 0. 1 μm の n 型  $In_{0.1}Ga_{0.9}N$  層 6 0 4、珪素が添加された厚さ 0. 4 μm の n 型  $Al_{0.12}Ga_{0.88}N$  クラッド層 7 0 5、珪素が添加された厚さ 0. 1 μm の n 型窒化ガリウム光ガイド層 6 0 6、厚さ 2 5 Å のアンドープの  $In_{0.2}Ga_{0.8}N$  量子

井戸層と厚さ 50 Å のアンドープの  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  障壁層からなる 20 周期の多重量子井戸構造活性層 707、マグネシウムが添加された厚さ 200 Å の p 型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  層 608、マグネシウムが添加された厚さ 0.1 μm の p 型窒化ガリウム光ガイド層 609、マグネシウムが添加された厚さ 0.4 μm の p 型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  クラッド層 610、マグネシウムが添加された厚さ 0.5 μm の p 型窒化ガリウムコンタクト層 611、ニッケル（第 1 層）および金（第 2 層）からなる p 電極 612、チタン（第 1 層）およびアルミニウム（第 2 層）からなる n 電極 613 が形成されている。半導体層 602、603、604、705、606、707、608、609、610、611 の形成は MOVPE 法により行われた。n 型窒化ガリウムコンタクト層 603 より表面側の半導体層は六方晶であって、窒化ガリウム系半導体の (0001) 面を表面としている。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術の窒化ガリウム系レーザは、共振器ミラーの形成が困難であるという問題があった。

【0005】例えば、図 6 に示された従来技術の窒化ガリウム系レーザは、サファイアの (0001) 面基板 101 上に形成されている。この場合、サファイアの (0001) 面基板 101 の表面に垂直な劈開面である (1-100) 面と、n 型窒化ガリウムコンタクト層 603 より表面側の窒化ガリウム系半導体層の表面に垂直な劈開面である (1-100) 面とは、30 度の角度をなしている。このため、サファイアの (0001) 面基板上に形成された窒化ガリウム系レーザは、共振器ミラーを簡便な劈開により形成することが困難であり、ドライエッチングにより形成する必要があるがあった。共振器ミラーをドライエッチングにより形成する場合、劈開により形成する場合に比べ、工程が煩雑である上、半導体層に損傷を与えたり共振器ミラー面に凹凸が生じる場合がある等の問題があった。

【0006】サファイア (0001) 面基板上に形成された窒化ガリウム系レーザにおいては、サファイア基板をある程度以下に薄く研磨することによって、共振器のミラーを劈開により形成することが可能であるという報告もあるが (K. Itaya et al., Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996)L1315)、共振器ミラー形成の歩留まりが悪いという問題がある。

【0007】また、例えば、図 7 に示された従来技術の窒化ガリウム系レーザは、サファイア (11-20) 面基板 701 上に形成されている。この場合、サファイア (11-20) 面基板 701 の面に垂直な劈開面である (1-100) 面と、n 型窒化ガリウムコンタクト層 603 より表面側の窒化ガリウム系半導体層の表面に垂直な劈開面である (1-100) 面は、ほぼ一致している。このため、サファイア (11-20) 面基板上に形

成された窒化ガリウム系レーザは、共振器のミラーを、劈開により比較的歩留まり良く形成することが可能である。しかし、この場合でも、サファイア基板と窒化ガリウム系半導体層の劈開面が完全には一致していない

(2.4 度の角度をなしている) ために、共振器ミラー面に凹凸が生じるという問題があった。

【0008】発振しきい値電流および発振効率の優れた半導体レーザを得るためには共振器ミラーの面精度および平行度を良好にする必要があるが、上述のように、従来の窒化ガリウム系レーザはこのような条件を十分に満足するものではなかった。また、共振器ミラーの平行度を上げるためにはドライエッチング等の煩雑な工程が必要となることから、簡便な工程で良好な共振器ミラーを形成する方法の開発が強く望まれていた。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する本発明の半導体レーザは、基板と、該基板上に形成され窒化ガリウム系半導体層を含んでなる共振器とを有する半導体レーザにおいて、前記窒化ガリウム系半導体層が六方晶の結晶構造を有し、前記共振器の端面は前記窒化ガリウム系半導体層の (11-20) 面であって前記基板に対して実質的に垂直に形成され、前記端面は数原子層オーダーの面精度を有することを特徴とする。本発明の半導体レーザによれば、共振器を構成する両端面の平行度および面精度が良好であるため、良好なしきい値電流を実現するとともに優れた発振効率を実現することができる。

【0010】また、本発明の半導体レーザの製造方法は、窒化ガリウム系半導体層を含む半導体レーザの製造方法において、六方晶の結晶構造を有し該結晶構造の (0001) 面または (0001) 面とのなす角が 5° 以下である面を主面とする一または二以上の窒化ガリウム系半導体層を含む平坦層を、基板上に直接にまたはバッファ層を介して形成する工程と、該平坦層の表面に窒化珪素マスクを形成する工程と、該窒化珪素マスクに、前記平坦層の [11-20] 方向を長辺、[1-100] 方向を短辺とする長方形の開口部を設ける工程と、前記開口部の前記平坦層の表面上に、活性層を含む一または二以上の窒化ガリウム系半導体層を含んでなる選択成長層を形成する工程とを有することを特徴とする。

【0011】窒化ガリウム系半導体層をエピタキシャル成長させる際、従来は酸化珪素をマスクとして選択成長させる方法が一般的に用いられていた。しかしこの方法では選択成長層の側面を基板に垂直にすることは困難であった。また、垂直に形成できてもその製造条件はきわめて限られたものとなり、品質の安定性も十分ではなかった。このため、通常、選択成長層形成後の工程でドライエッチングや劈開により共振器ミラーを形成することが行われていた。これに対し、本発明によれば窒化珪素をマスクとして成長させるため、選択成長層の側面が基

板に対し実質的に垂直に形成され、かつ、数原子層オーダーの面精度を有する平滑な鏡面が得られる。したがって、選択成長層の側面をそのまま共振器ミラーとすることで、製造条件について大きな制約を加えることなく、平行度および面精度の良好で品質の安定性に優れた共振器ミラーを得ることができる。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】本発明の半導体レーザの一例について、以下、図1を参照して説明する。

【0013】本発明に用いられる基板101の材料としては、サファイア、 $\text{GaN}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{SiC}$ 等が挙げられ、このうちサファイアが好ましく用いられる。結晶性に優れた窒化ガリウム系半導体層を比較的容易に形成することができるからである。サファイアを用いた場合、基板の主面は(0001)面または(11-20)面とする。

【0014】本発明における窒化ガリウム系半導体層とは、一般式 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x+y \leq 1$ )で表される半導体層をいう。

【0015】本発明の半導体レーザにおいて、共振器端面103は基板101に対して実質的に垂直に形成される。実質的に垂直とは、発振効率の低下をもたらさない程度に十分な垂直であることをいう。具体的には、共振器端面103は基板101に垂直な方向に対して1度以内、好ましくは0.5度以内の角度をなす方向に形成される。このようにすることにより、良好なしきい値電流および優れた発振効率を実現することができる。

【0016】本発明の半導体レーザにおいて、共振器端面103は、数原子層オーダーの面精度を有する。数原子層オーダーの面精度とは、2~3原子層オーダーの精度をいい、従来のミラー形成方法である劈開法により形成された鏡面と同等の面精度をいう。このような面精度とすることにより、良好なしきい値電流および優れた発振効率を実現することができる。

【0017】また、本発明の半導体レーザにおいて、窒化ガリウム系半導体層104は六方晶の結晶構造を有しており、共振器端面103は窒化ガリウム系半導体層104の(11-20)面とする。これにより、共振器端面103と基板101との垂直性が保たれる。また、

(11-20)面を利用することにより、例えば後述するような窒化珪素をマスクとしてエピタキシャル成長させる等の方法で形成させることができ、製造条件についての制約が少なく品質安定性に優れた半導体レーザが提供される。

【0018】また共振器端面103は、基板101上に窒化ガリウム系半導体層104をエピタキシャル成長させることにより形成された窒化ガリウム系半導体層104の側面とすることが好ましい。すなわち、マスク材料を適宜選択し所定の条件で基板上に窒化ガリウム系半導体層をエピタキシャル成長させた際の選択成長層の側面

をそのまま利用することで、特に優れた面精度および平行度を実現することができる。この場合、エピタキシャル成長の際に用いるマスクは、酸化シリコン、窒化珪素、酸化チタン等が挙げられるが、このうち、窒化珪素が特に好ましい。後述するように、基板に対して実質的に垂直な共振器端面を容易に形成することができるからである。

【0019】次に、本発明の半導体レーザの製造方法の一例について、以下、図1を参照して説明する。本発明の半導体レーザの製造方法においては、まず基板101上に直接にまたはバッファ層602を介して平坦層603を形成する。ここで、バッファ層とは、その上に窒化ガリウム系半導体の単結晶を均一に形成させるために設けられる層であり、昇温時に部分的に単結晶化し、この部分が核となって単結晶の均一成長を促すものである。また、平坦層603は、六方晶の結晶構造を有しその結晶構造の(0001)面または(0001)面とのなす角が $5^\circ$ 以下である面を主面とする。このような面を主面とすることで、平坦層603の上に窒化ガリウム系半導体層を形成した際、基板に対して垂直に形成された共振器端面103を得ることができる。なお、(0001)面とのなす角が $5^\circ$ を越えると、共振器端面103の平行度が損なわれる場合がある。

【0020】平坦層の表面には、窒化珪素マスク102が形成される。窒化珪素マスクの厚みは特に制限されないが、好ましくは $500\text{\AA}$ 以上 $4000\text{\AA}$ 以下、さらに好ましくは $1000\text{\AA}$ 以上 $3000\text{\AA}$ 以下とする。 $500\text{\AA}$ 未満ではマスクにピンホール等の欠陥が生じる場合がある。また、 $4000\text{\AA}$ を越えても効果はそれほど変わらないため、 $4000\text{\AA}$ 以下とすることで十分である。

【0021】窒化珪素マスク102は、CVD法等の通常用いられる方法、条件により形成される。また、窒化珪素の組成比は、マスクにピンホール等の欠陥が生じない範囲であれば、化学量論比からずれていてもよい。窒化珪素マスクには、平坦層の[11-20]方向を長辺、[1-100]方向を短辺とする長方形の開口部が設けられる。開口部の大きさは、共振器のサイズに応じて適宜設定される。

【0022】開口部を形成した後、この開口部の平坦層603の表面上に、活性層を含む一または二以上の窒化ガリウム系半導体層を含んでなる選択成長層を形成する。形成方法は、有機金属化学気相成長法を用いることが好ましい。この場合、成長条件は通常用いられる条件が用いられ、成長温度は例えば $900 \sim 1200^\circ\text{C}$ とする。

【0023】選択成長層の層構造の例を図2、3、5に示す。この選択成長層は、図3、5のようにアルミニウムを含まない層のみによって構成されることが好ましい。選択成長法により $\text{AlGaIn}$ を含む窒化ガリウム系

半導体層を形成した場合、マスク材とAl原料の反応により、マスク上にAlGaInの多結晶が析出する場合があるからである。但し、このような層構造とした場合、選択成長層にAlGaInクラッド層が含まれないこととなるため、多重量子井戸活性層607への光閉込係数がある程度確保するための手段をとることが望ましい。例えば、その手段の一つとして多重量子井戸構造を比較的多周期にすることが有効である。周期数は、例えば、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層とIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる多重量子井戸構造の場合、8周期以上とすることが好ましい。また、AlGaInクラッド層を、マスクの下部の平坦層中に形成することも有効である。例えば、図3のように、n型窒化ガリウムコンタクト層603と窒化珪素マスク102の間に、n型AlGaInクラッド層405が形成された構造とする。この方法によれば、多重量子井戸構造の周期数を特に増加させることなく、光閉込係数を確保することができる。

【0024】

【実施例】

(実施例1) 以下、実施例により本発明の内容をさらに詳細に説明する。

【0025】本実施例では、マスク材として窒化珪素を用いた選択成長により形成される窒化ガリウム系半導体層の側面である(11-20)面を窒化ガリウム系レーザの共振器ミラーとして用いた。

【0026】本実施例の窒化ガリウム系レーザの構造の模式的断面図を図1に示す。この窒化ガリウム系レーザは以下のようにして作製した。まず、サファイア(0001)面基板101上に、MOVPE法により、成長温度550℃で厚さ300Åのアンダーの窒化ガリウム低温成長バッファ層602、および、珪素が添加された厚さ3μmのn型窒化ガリウムコンタクト層603を形成した。n型窒化ガリウムコンタクト層603は、(0001)面を表面とする六方晶である。しかる後に、前記n型窒化ガリウムコンタクト層603の表面にプラズマ化学気相堆積(プラズマCVD)法およびリソグラフィおよび弗酸によるエッチングにより、窒化ガリウムの[11-20]方向に500μm、[1-100]方向に5μmの、長方形の開口部を有する厚さ2000Åの窒化珪素マスク102を形成した。さらに、前記マスク102の開口部にのみ、MOVPE法により、選択的に、窒化ガリウム系レーザの活性層を含む窒化ガリウム系半導体層を形成した。最後に、ニッケル(第1層)および金(第2層)からなるp電極612、チタン(第1層)およびアルミニウム(第2層)からなるn電極613を形成した。図1に示された本実施例1の窒化ガリウム系レーザでは、前記窒化ガリウム系半導体層104の側面に形成された窒化ガリウムの(11-20)面を共振器ミラーとして利用している。

【0027】本実施例において、図1に示された前記窒

化ガリウム系半導体層104を、窒化ガリウムの(11-20)面で切断した場合の概略断面図を図2に示す。図2において、窒化ガリウム系半導体結晶103は、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型窒化ガリウム層201、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層605、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガイド層606、厚さ2.5ÅのアンダーのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50ÅのアンダーのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる26周期の多重量子井戸構造活性層607、マグネシウムが添加された厚さ200Åのp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層608、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層609、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層610、マグネシウムが添加された厚さ0.5μmのp型窒化ガリウムコンタクト層611からなる。

【0028】本実施例においては、窒化ガリウム系半導体の選択成長層を形成する際のマスク材として窒化珪素を用いており、窒化ガリウム系半導体層104は(0001)面および(1-101)面および(11-20)面で囲まれた形状となる。マスク102は窒化ガリウムの[11-20]方向に長い長方形の開口部を有しているため、窒化ガリウム系半導体層104の側面である(11-20)面がそのままレーザの共振器ミラーとなる。

【0029】共振器端面103をSEM観察したところ、基板に対して90度の方向に形成され、かつ、原子層オーダーの面精度を有していることが確認された。

【0030】(実施例2) 実施例1と同じく、マスク材として窒化珪素を用いた選択成長により形成される窒化ガリウム系半導体層の側面である(11-20)面を窒化ガリウム系レーザの共振器ミラーとして用いた。本実施例では、実施例1において窒化ガリウム系半導体層104中で活性層の上下に形成されているAlGaInクラッド層が形成されていない。

【0031】本実施例2の窒化ガリウム系レーザの構造の模式的断面図は、実施例1と同じく図1で示され、その製造方法も実施例1と同様である。

【0032】本実施例2において、図1に示された窒化ガリウム系半導体結晶103を、窒化ガリウムの(11-20)面で切断した場合の、概略断面図を図3に示す。図3において、窒化ガリウム系半導体結晶103は、珪素が添加された厚さ0.9μmのn型窒化ガリウム層201、厚さ2.5ÅのアンダーのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50ÅのアンダーのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる26周期の多重量子井戸構造活性層607、マグネシウムが添加された厚さ200Åのp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層608、マグネシウムが添加された厚さ1.0μmのp型窒化ガリウムコンタクト層611からなる。



【0033】本実施例においては、マスク102は窒化ガリウムの〔11-20〕方向に長い長方形の開口部を有しているため、選択成長法によって形成された窒化ガリウム系半導体層104の(11-20)面がそのままレーザの共振器ミラーとなる。

【0034】共振器端面103をSEM観察したところ、基板に対して90度の方向に形成され、かつ、原子層オーダーの面精度を有していることが確認された。

【0035】(実施例3) 実施例1および実施例2と同様にマスク材として窒化珪素を用いて選択成長により形成した窒化ガリウム系半導体層の側面である(11-20)面を窒化ガリウム系レーザの共振器ミラーとして用いた。但し、本実施例では、実施例1において窒化ガリウム系半導体層104中で活性層の上下に形成されているAlGaInクラッド層が形成されておらず、かつ、n型窒化ガリウムコンタクト層603と窒化珪素マスク102の間に、n型AlGaInクラッド層が形成されている。

【0036】本実施例3の窒化ガリウム系レーザの構造の模式的断面図を図4に示す。図4に示された本実施例の窒化ガリウム系レーザの製造方法は以下の通りである。サファイア(0001)面基板101上に、MOVPE法により、成長温度550℃で厚さ300Åのアンダーの窒化ガリウム低温成長バッファ層602、および、珪素が添加された厚さ3μmのn型窒化ガリウムコンタクト層603、および、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層405を形成した。前記n型窒化ガリウムコンタクト層603およびn型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層405は、(0001)面を表面とする六方晶である。しかる後に、前記n型窒化ガリウムコンタクト層603の表面にプラズマ化学気相堆積(プラズマCVD)法およびリソグラフィおよび弗酸によるエッチングにより、窒化ガリウムの〔11-20〕方向に500μm、〔1-100〕方向に5μmの、長方形の開口部を有する厚さ2000Åの窒化珪素マスク102を形成した。さらに、前記マスク102の開口部にのみ、MOVPE法により、選択的に、窒化ガリウム系レーザの活性層を含む窒化ガリウム系半導体層104を形成した。最後に、ニッケル(第1層)および金(第2層)からなるp電極612、チタン(第1層)およびアルミニウム(第2層)からなるn電極613を形成した。図1に示された本実施例1の窒化ガリウム系レーザでは、前記窒化ガリウム系半導体層104の側面に形成された窒化ガリウムの(11-20)面を共振器ミラーとして利用している。

【0037】本実施例3において、図4に示された窒化ガリウム系半導体層104を、窒化ガリウムの(11-20)面で切断した場合の、概略断面図を図5に示す。図5において、窒化ガリウム系半導体結晶103は、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガ

イド層606、厚さ25ÅのアンダーのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50ÅのアンダーのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる26周期の多重量子井戸構造活性層607、マグネシウムが添加された厚さ200Åのp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層608、マグネシウムが添加された厚さ1.0μmのp型窒化ガリウムコンタクト層611からなる。

【0038】本実施例においては、マスク102は窒化ガリウムの〔11-20〕方向に長い長方形の開口部を有しているため、選択成長法によって形成された窒化ガリウム系半導体層104の(11-20)面がそのままレーザの共振器ミラーとなる。

【0039】共振器端面103をSEM観察したところ、基板に対して90度の方向に形成され、かつ、原子層オーダーの面精度を有していることが確認された。

【0040】本発明の窒化ガリウム系レーザおよびその製造方法は、上述した実施例1ないし実施例3に示されるマスクパターンや層構造においてのみ有効であるという訳ではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、あらゆるマスクパターンおよびあらゆる層構造において有効である。なお、本発明に於けるサファイア基板の表面面方位に関しては、実施例1ないし実施例3に示されたような(0001)面である必要はなく、(11-20)面でも良い。さらに、サファイア基板の表面面方位に関しては、必ずしも厳密に(0001)面または(11-20)面である必要はなく、(0001)面または(11-20)面となす角が5度程度以内の面であれば良い。さらに、マスクの開口部の長方形の長辺および短辺の方向は必ずしも厳密に窒化ガリウムの〔11-20〕方向や〔1-100〕方向である必要はなく、窒化ガリウムの〔11-20〕方向または〔11-20〕方向とのなす角が5度程度以内の方向であればよい。

【0041】

【発明の効果】本発明の半導体レーザによれば、共振器端面が基板に対して実質的に垂直に形成され、かつ、この端面は数原子層オーダーの面精度を有するため、優れたしきい値電流および発振効率を実現することができる。

【0042】また、本発明の半導体レーザによれば、共振器の端面は窒化ガリウム系半導体層の(11-20)面を利用しているため、例えば窒化珪素をマスクとしてエピタキシャル成長させる等の方法で形成させることができ、製造条件についての制約が少なく品質安定性に優れた半導体レーザが提供される。

【0043】また、本発明の半導体レーザの製造方法によれば、窒化珪素をマスクとして成長させるため、選択成長層の側面が基板に対し実質的に垂直に形成され、かつ、数原子層オーダーの面精度を有する平滑な鏡面が得られる。したがって、選択成長層の側面をそのまま共振器ミラーとすることができる。このため、共振器のミラ

11

一をドライエッチングや歩留まりの悪い劈開によって形成する必要がない。また、共振器ミラー面に凹凸が生じる問題もない。即ち、本発明の窒化ガリウム系レーザの製造方法によれば、極めて平坦で、かつ平行度に優れた共振器ミラーを簡便な工程で形成することができる。さらに、製造条件についての制約が少なく品質安定性に優れるという利点も有する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の窒化ガリウム系レーザの構造を示す模式的断面図である。

【図 2】本発明の窒化ガリウム系レーザ選択成長層の層構造を示す模式的断面図である。

【図 3】本発明の窒化ガリウム系レーザ選択成長層の層構造を示す模式的断面図である。

【図 4】本発明の窒化ガリウム系レーザの構造を示す模式的断面図である。

【図 5】本発明の窒化ガリウム系レーザの構造を示す模式的断面図である。

【図 6】従来技術の結晶成長方法により (0001) 面サファイア基板上に形成された代表的な窒化ガリウム系

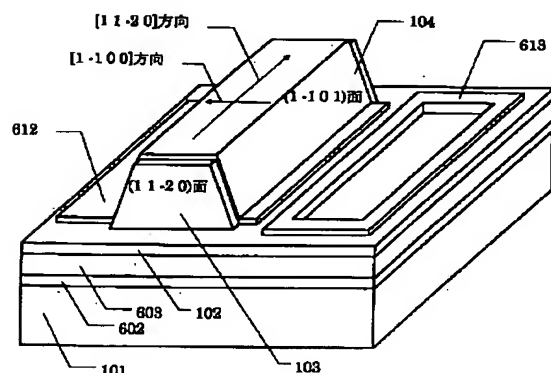
レーザの概略断面図である。  
【図 7】従来技術の結晶成長方法により (11-20) 面サファイア基板上に形成された代表的な窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

#### 【符号の説明】

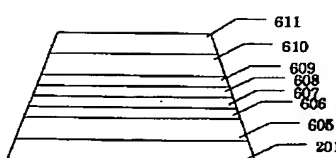
12

- 101 サファイア (0001) 面基板
- 102 窒化珪素膜
- 103 共振器端面
- 104 窒化ガリウム系半導体層
- 201 n型窒化ガリウム層
- 405 n型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  クラッド層
- 602 窒化ガリウム低温成長バッファ層
- 603 n型窒化ガリウムコンタクト層
- 604 n型  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$
- 10 605 n型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  クラッド層
- 606 n型窒化ガリウム光ガイド層
- 607  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N} / \text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  多重量子井戸活性層
- 608 p型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$
- 609 p型窒化ガリウム光ガイド層
- 610 p型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  クラッド層
- 611 p型  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  コンタクト層
- 612 p電極
- 613 n電極
- 701 サファイア (11-20) 面基板
- 702 窒化ガリウム低温成長バッファ層
- 705 n型  $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$  層
- 707  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N} / \text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  多重量子井戸活性層

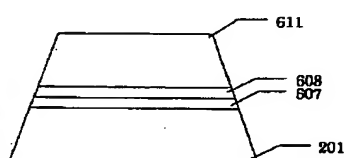
【図 1】



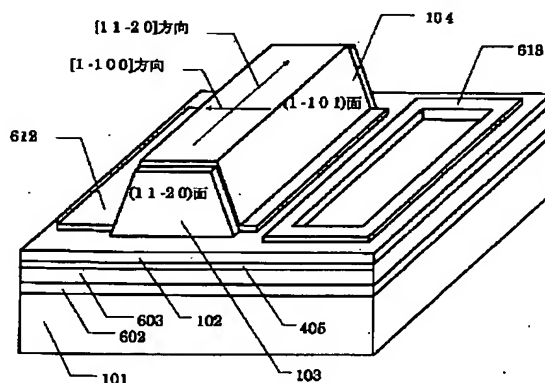
【図 2】



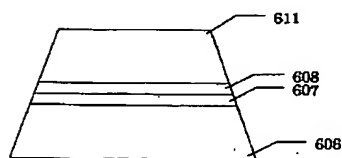
【図 3】



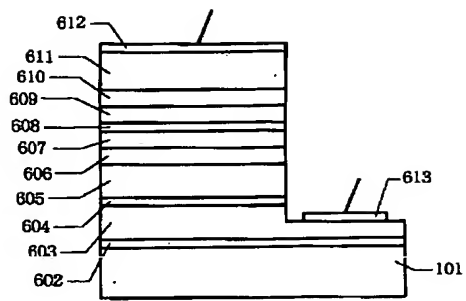
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

